

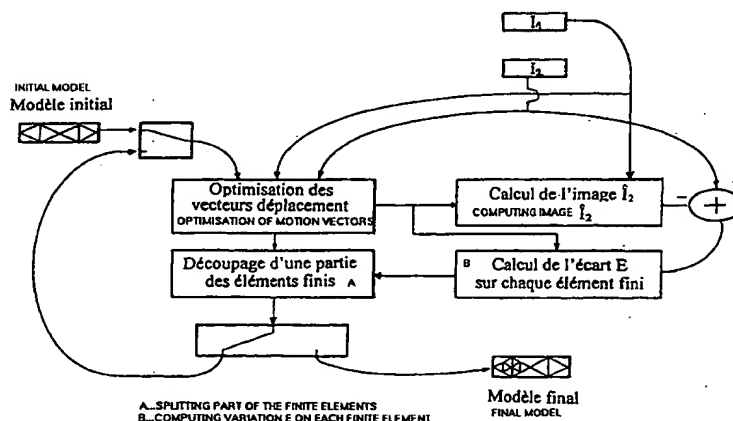


## DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITE DE COOPERATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(51) Classification internationale des brevets <sup>7</sup> : <b>H04N 7/36, 7/26</b>	<b>A1</b>	(11) Numéro de publication internationale: <b>WO 00/14969</b> (43) Date de publication internationale: 16 mars 2000 (16.03.00)
<p>(21) Numéro de la demande internationale: PCT/FR99/02076</p> <p>(22) Date de dépôt international: 1er septembre 1999 (01.09.99)</p> <p>(30) Données relatives à la priorité: 98/11227 4 septembre 1998 (04.09.98) FR</p> <p>(71) Déposants (pour tous les Etats désignés sauf US): FRANCE TELECOM S.A. [FR/FR]; 6, place d'Alleray, F-75015 Paris (FR). TELEDIFFUSION DE FRANCE S.A. [FR/FR]; 10, rue d'Oradour sur Glane, F-75015 Paris (FR).</p> <p>(72) Inventeurs; et (75) Inventeurs/Déposants (US seulement): LAURENT, Nathalie [FR/FR]; 24, square Georges Travers, F-35000 Rennes (FR). LECHAT, Patrick [FR/FR]; 9, rue Marcel Planiol, F-35000 Rennes (FR). SANSON, Henri [FR/FR]; 12, allée des Roseaux, F-35690 Acigne (FR).</p> <p>(74) Mandataires: BEAUFILS, Yves etc.; Cabinet Ballot-Schmit, 4, rue Général Hoche, F-56100 Lorient (FR).</p>	<p>(81) Etats désignés: CN, JP, KR, US, brevet européen (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).</p> <p>Publiée Avec rapport de recherche internationale.</p>	

(54) Title: METHOD FOR ESTIMATING MOTION BETWEEN TWO IMAGES

(54) Titre: PROCEDE D'ESTIMATION DU MOUVEMENT ENTRE DEUX IMAGES



## (57) Abstract

The invention concerns a method for estimating motion between two digital images,  $I_1$  and  $I_2$ , with brightness  $Y_1$  and  $Y_2$ , for generating, for each point of co-ordinates  $x, y$  of image  $I_2$  a motion vector  $\vec{d}(x, y) = (d_x, d_y)$  so as to form an image  $\hat{I}_2$  from image  $I_1$  with brightness  $\hat{Y}_2(x, y) = Y_1(x - d_x, y - d_y)$  which is an approximation of image  $I_2$ . Said method consists in using of a model of finite elements and a differential method for determining the motion field of image  $I_2$ . The invention is characterised in that the mesh associated with the model of finite elements is refined as the motion estimation is being carried out.

(57) Abrégé

La présente invention concerne un procédé d'estimation du mouvement entre deux images numériques,  $I_1$  et  $I_2$ , de luminance  $Y_1$  et  $Y_2$ , destiné à générer, pour chaque point de coordonnées  $x, y$  de l'image  $I_2$  un vecteur déplacement  $\vec{d}(x, y) = (d_x, d_y)$  de manière à former une image  $\hat{I}_2$  à partir de l'image  $I_1$ , de luminance  $\hat{Y}_2(x, y) = Y_1(x - d_x, y - d_y)$ , qui soit une approximation de l'image  $I_2$ . Ce procédé prévoit l'utilisation d'un modèle d'éléments finis et une méthode différentielle pour déterminer le champ de mouvement de l'image  $I_2$ . Selon l'invention, le maillage se rapportant au modèle d'éléments finis est affiné au fur et à mesure de l'estimation de mouvement.

**UNIQUEMENT A TITRE D'INFORMATION**

Codes utilisés pour identifier les Etats parties au PCT, sur les pages de couverture des brochures publiant des demandes internationales en vertu du PCT.

AL	Albanie	ES	Espagne	LS	Lesotho	SI	Slovénie
AM	Arménie	FI	Finlande	LT	Lituanie	SK	Slovaquie
AT	Autriche	FR	France	LU	Luxembourg	SN	Sénégal
AU	Australie	GA	Gabon	LV	Lettonie	SZ	Swaziland
AZ	Azerbaïdjan	GB	Royaume-Uni	MC	Monaco	TD	Tchad
BA	Bosnie-Herzégovine	GE	Géorgie	MD	République de Moldova	TG	Togo
BB	Barbade	GH	Ghana	MG	Madagascar	TJ	Tadjikistan
BE	Belgique	GN	Guinée	MK	Ex-République yougoslave de Macédoine	TM	Turkménistan
BF	Burkina Faso	GR	Grèce	ML	Mali	TR	Turquie
BG	Bulgarie	HU	Hongrie	MN	Mongolie	TT	Trinité-et-Tobago
BJ	Bénin	IE	Irlande	MR	Mauritanie	UA	Ukraine
BR	Brésil	IL	Israël	MW	Malawi	UG	Ouganda
BY	Bélarus	IS	Islande	MX	Mexique	US	Etats-Unis d'Amérique
CA	Canada	IT	Italie	NE	Niger	UZ	Ouzbékistan
CF	République centrafricaine	JP	Japon	NL	Pays-Bas	VN	Viet Nam
CG	Congo	KE	Kenya	NO	Norvège	YU	Yougoslavie
CH	Suisse	KG	Kirghizistan	NZ	Nouvelle-Zélande	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	République populaire démocratique de Corée	PL	Pologne		
CM	Cameroun	KR	République de Corée	PT	Portugal		
CN	Chine	KZ	Kazakstan	RO	Roumanie		
CU	Cuba	LC	Sainte-Lucie	RU	Fédération de Russie		
CZ	République tchèque	LI	Liechtenstein	SD	Soudan		
DE	Allemagne	LK	Sri Lanka	SE	Suède		
DK	Danemark	LR	Libéria	SG	Singapour		
EE	Estonie						

**PROCEDE D'ESTIMATION DU MOUVEMENT  
ENTRE DEUX IMAGES**

5     La présente invention concerne un procédé d'estimation du mouvement entre deux images numériques.

Le mouvement entre deux images successives,  $I_1$  et  $I_2$ , se définit généralement sous la forme d'un champ de mouvement associé à l'une ou l'autre des images  $I_1$ ,  $I_2$   
10     et constitué de vecteurs déplacement se rapportant chacun à un point de l'image concernée. Le vecteur déplacement est un vecteur à deux dimensions représentatif de la différence de position entre le  
15     pixel de l'image  $I_1$  et le pixel associé de l'image  $I_2$  se rapportant au même point physique de la scène filmée.

Une estimation de mouvement est utile dans les domaines  
20     du traitement de l'image nécessitant la connaissance des mouvements ou des disparités entre deux images. On peut citer, à titre d'exemples, les domaines d'applications suivants:

- la compression d'images : le procédé d'estimation  
25     est utilisé pour limiter la quantité de données pour coder une image, les images étant définies les une par rapport aux autres ;
- la compression de données dans des espaces de dimension supérieure à 2 ;
- 30     - le codage vidéo : le champ de mouvement défini à partir d'images déjà décodées est alors utilisé pour la prédiction de l'image suivante;

- l'imagerie médicale : le procédé d'estimation du mouvement entre deux images est utilisé pour faire une analyse de mouvement du coeur par exemple;
  - la télésurveillance : le procédé peut servir au
- 5       contrôle du trafic routier;
- la reconstruction tridimensionnelle à partir d'images multi-vues : le procédé est utilisé pour estimer les disparités entre les différentes vues.
- 10       Pour obtenir un tel champ de mouvement, il est connu de décomposer l'image en éléments finis. Ces éléments finis qui peuvent être par exemple des triangles ou des
- 15       quadrangles, sont déterminés par un maillage dont les noeuds correspondent aux sommets des éléments finis. Un vecteur déplacement est calculé pour chaque noeud du
- 20       maillage. Puis, par le biais d'une fonction d'interpolation, on peut en déduire un vecteur déplacement pour chaque point de l'image considérée. Le champ de mouvement est ainsi déterminé par un modèle
- 25       d'éléments finis, définissant le maillage utilisé pour partitionner l'image en éléments finis et la fonction d'interpolation permettant de calculer le vecteur déplacement en tout point de l'image.
- 30       Le maillage utilisé peut être régulier ou non et doit être choisi suffisamment dense pour modéliser au mieux le mouvement entre les deux images sans toutefois nécessiter une quantité de calculs ou de données à transmettre trop importante. Ce choix est effectué une fois pour toutes en début de procédé et ce maillage reste généralement le même tout au long de l'estimation.

Le calcul des vecteurs déplacement des noeuds du maillage peut être effectué selon diverses méthodes. Il existe tout d'abord les méthodes dites de mise en correspondance, ou "matching", consistant à tester un ensemble discret de valeurs possibles de vecteurs déplacement pour chaque noeud du maillage et à retenir les meilleurs vecteurs selon un critère donné. Une seconde méthode dite par transformée consiste à utiliser les propriétés de la transformée de Fourier et de ses extensions afin de convertir le mouvement en un déphasage dans l'espace transformé. Enfin, il existe une troisième méthode dite différentielle permettant de déterminer les vecteurs déplacement par optimisation d'un critère mathématique (par exemple, une erreur quadratique entre l'image et sa valeur prédite avec le champ de mouvement). Cette méthode est la plus utilisée pour l'estimation de mouvement avec modélisation par éléments finis. Une méthode différentielle classique pour l'optimisation des vecteurs déplacement est la méthode de Gauss-Newton. La présente demande concerne plus particulièrement la famille de procédé d'estimation de mouvement utilisant un modèle d'éléments finis et une méthode différentielle pour déterminer le champ de mouvement.

Bien que très répandu, ce type de procédé présente cependant quelques inconvénients. Le maillage choisi en début de procédé peut se révéler inapproprié par rapport au contenu sémantique de l'image, certaines zones de l'image méritant un maillage plus dense et d'autres un maillage plus aéré. Par ailleurs, sous l'effet du champ des vecteurs déplacement des noeuds du maillage, le maillage initial sur l'image de départ,

par exemple I2, se transforme en un nouveau maillage sur l'autre image, par exemple I1. Il peut alors se produire des situations pathologiques au niveau du nouveau maillage telles que :

- 5    - des retournements d'éléments finis: des éléments finis se retournent et viennent en recouvrir d'autres, détruisant ainsi la propriété de partition du domaine de l'image que doit vérifier tout maillage,
- 10   - débordement des noeuds périphériques du maillage déplacé après application des vecteurs déplacement au-delà du domaine de l'image I1: certains pixels de l'image I2 peuvent être associés à des pixels de l'image I1 situés en dehors du domaine de l'image I1.
- 15   Ceci n'est pas forcément gênant mais il peut être intéressant de forcer les noeuds périphériques du maillage déplacé à rester dans le domaine de l'image I1.

20   Un but de l'invention est de proposer un procédé d'estimation de mouvement dans lequel le maillage est optimisé au cours de l'estimation de manière à obtenir en fin de procédé un maillage adapté au contenu sémantique des images. A cet effet, on prévoit un affinage local des éléments finis durant l'estimation

25   de mouvement.

Un autre but de l'invention est d'améliorer l'efficacité de la méthode de Gauss Newton pour l'optimisation des vecteurs déplacement des noeuds du

30   maillage. A cet effet, on prévoit d'effectuer cette optimisation sur plusieurs niveaux de résolution des images.

Enfin, un autre but de l'invention est de proposer un procédé d'estimation de mouvement permettant d'éviter les situations pathologiques précitées. A cet effet, on prévoit selon l'invention de rajouter, au cours de  
5 l'étape d'optimisation des vecteurs déplacement, des contraintes pour éviter de telles situations.

Aussi, l'invention a pour objet un procédé d'estimation du mouvement entre deux images numériques,  $I_1$  et  $I_2$ , de  
10 luminance  $Y_1$  et  $Y_2$ , destiné à générer, pour chaque point de coordonnées  $x, y$  de l'image  $I_2$  un vecteur déplacement  $\vec{d}(x, y) = (d_x, d_y)$  de manière à former une image  $\hat{I}_2$  à partir de l'image  $I_1$ , de luminance  $\hat{Y}_2(x, y) = Y_1(x - d_x, y - d_y)$ , qui soit une approximation de l'image  $I_2$ ,  
15 caractérisé en ce qu'il comporte les étapes suivantes:

- (a) - définir un modèle d'éléments finis initial comportant un maillage dont les noeuds sont des points de l'image  $I_2$ , un vecteur déplacement à chaque noeud dudit maillage, et une formule d'interpolation pour  
20 calculer la valeur du vecteur déplacement de chaque point de l'image  $I_2$  à partir des valeurs des vecteurs déplacements des noeuds de la maille à laquelle il appartient,
- (b) - optimiser la valeur des vecteurs déplacement du  
25 modèle selon une méthode différentielle,
- (c) - calculer un écart  $E$  entre l'image  $\hat{I}_2$  et l'image  $I_2$  pour chaque élément fini ou maille,
- (d) - opérer un maillage plus fin sur une fraction discrète de l'ensemble des éléments finis déterminée  
30 selon un critère relatif aux écarts  $E$ , et attribuer un vecteur déplacement à chaque nouveau noeud de maillage,

(e) - répéter les étapes (b), (c) et (d) sur le modèle d'éléments finis obtenu au terme de l'étape (d) précédente, jusqu'à satisfaire un critère d'arrêt.

5 Selon un mode de réalisation amélioré, on définit en outre, pour chaque image numérique  $I_1$  et  $I_2$ , un ensemble de R images  $I_i^r$  de niveau de résolution r et de luminance  $Y_i^r$  avec r prenant les valeurs  $(0, \dots, R-1)$  et i les valeurs 1 et 2, les images  $I_1^0$  et  $I_2^0$  correspondant  
10 aux images numériques  $I_1$  et  $I_2$ , et on effectue les étapes (b) à (e) pour chaque niveau de résolution r, à partir du niveau  $r=R-1$  jusqu'au niveau  $r=0$ .

Enfin, selon un mode de réalisation préféré, on prévoit  
15 rajouter des contraintes sur le déplacement des éléments finis au moment de l'optimisation des vecteurs déplacement de manière à éviter le retournement des éléments finis. Selon un autre mode de réalisation, on prévoit également d'introduire des contraintes pour  
20 éviter le débordement du maillage obtenu après application des vecteurs déplacement au-delà du domaine de l'image I1.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention  
25 apparaîtront à la lecture de la description détaillée qui suit et qui est faite en référence aux dessins annexés, dans lesquels:

- la figure 1 représente un schéma d'un premier mode de réalisation du procédé d'estimation de mouvement selon l'invention;  
30
- la figure 2 illustre l'étape (d) du procédé de l'invention; et



- la figure 3 représente un schéma d'un mode de réalisation amélioré du procédé d'estimation de mouvement selon l'invention.

5 On considère deux images numériques  $I_1$  et  $I_2$  de luminance respective  $Y_1$  et  $Y_2$ . Le procédé de l'invention consiste à générer, pour chaque point P de coordonnées  $(x,y)$  dans l'image  $I_2$ , un vecteur déplacement  $\vec{d}(x,y)=(d_x,d_y)$ . Ce vecteur est défini comme  
10 étant le vecteur permettant de construire à partir de l'image  $I_1$ , une image  $\hat{I}_2$  de luminance  $\hat{Y}_2(x,y)=Y_1(x-d_x,y-d_y)$  qui soit une approximation de  $I_2$ . Les déplacements sont ainsi définis de l'image  $I_1$  vers l'image  $I_2$ .

Le champ de mouvement recherché est défini par un  
15 modèle d'éléments finis. Dans la suite de l'exposé, on considère que les éléments finis sont des triangles sans qu'on puisse y voir une limitation de la portée de la présente demande à cette forme d'éléments finis. Le modèle d'éléments finis comporte par conséquent un  
20 maillage triangulaire, des vecteurs déplacement définis aux noeuds du maillage, lesquels noeuds correspondent aux sommets des triangles, et une formule d'interpolation pour calculer le vecteur déplacement des points à l'intérieur des triangles.

25 La formule d'interpolation utilisée pour calculer le champ de mouvement en tout point du domaine de l'image  $I_2$  est la suivante:

si on considère le point P de coordonnées  $(x,y)$  dans  
30 l'image  $I_2$  appartenant au triangle e de sommets  $P_i$ ,  $P_j$  et  $P_k$  de coordonnées respectives  $(x_i,y_i)$ ,  $(x_j,y_j)$  et  $(x_k,y_k)$ , son vecteur déplacement est égal à

$$\bar{d}(x,y) = \sum_{l=i,j,k} \psi_l^e(x,y) \cdot \bar{d}(x_l, y_l)$$

où  $\psi_l^e$  représente une fonction de base associée au triangle e.

5 Dans le cas d'une interpolation affine, les  $\psi_l^e(x,y)$  représentent les coordonnées barycentriques du point P dans le triangle e de sommets  $P_i, P_j, P_k$ . Ces fonctions sont définies par la relation suivante :

$$\begin{cases} \psi_l^e(x,y) = \alpha_l + \beta_l x + \gamma_l y & (x,y) \in e \\ \sum_{l=i,j,k} \psi_l^e(x,y) = 1 & \text{et } \alpha_l, \beta_l, \gamma_l \in \mathbb{R} \\ \psi_l^e(x,y) = 0 & (x,y) \notin e \end{cases}$$

$$\text{soit } \psi_i^e(x,y) = \frac{x_j y_k - x_k y_j + (y_j - y_k)x + (x_k - x_j)y}{x_j y_k - x_k y_j + x_k y_i - x_i y_k + x_i y_j - x_j y_i}$$

10 Les fonctions affines  $\psi_j^e(x,y)$  et  $\psi_k^e(x,y)$  se déduisent de la fonction  $\psi_i^e(x,y)$  en permutant circulairement les indices  $i, j, k$ . On peut également utiliser des modèles d'éléments finis plus évolués, les fonctions  $\psi$  pouvant alors être étendues à des polynômes de degré  $n \geq 2$  mais  
 15 la formule d'interpolation des vecteurs déplacement fait alors intervenir des dérivées premières, secondes... Un choix divers de modèles d'éléments finis est proposé dans l'ouvrage "Handbook of Numerical Analysis" de P.G Ciarlet et J.L Lions, Volume 2, pp 59-  
 20 99, Ed. North Holland.

Selon l'invention, au fur et à mesure de l'estimation de mouvement, on optimise la valeur des vecteurs déplacement des noeuds du maillage appelés vecteurs  
 25 nodaux, et on densifie localement le maillage lorsque

c'est nécessaire. Avantageusement, cette optimisation sera effectuée sur plusieurs niveaux de résolution en partant d'un niveau de résolution faible.

- 5 Selon un premier mode de réalisation illustré par la figure 1, le procédé de l'invention comporte cinq étapes référencées (a) à (e).

10 Selon l'étape (a), on définit un modèle d'éléments finis initial en sélectionnant des points de l'image  $I_2$  selon un maillage triangulaire initial. Les noeuds du maillage représentent les sommets des triangles (éléments finis) du modèle. Ce maillage peut être défini de manière quelconque, par exemple en fonction  
15 des besoins de l'application ou de connaissances préalables ou du mouvement déjà calculé entre deux images précédentes de la même séquence vidéo. Si aucune donnée concernant le maillage initial n'est spécifiée, on utilise un maillage régulier en quinconce. Les  
20 mailles sont alors des triangles. Un vecteur déplacement de valeur nulle est alors associé à chaque noeud du maillage. La formule d'interpolation définie précédemment est également une donnée du modèle initial.

25 Selon l'étape (b), on optimise la valeur des vecteurs déplacement du modèle selon une méthode différentielle, par exemple la méthode de Gauss-Newton ou son extension de Marquardt. Cette optimisation peut être soit libre,  
30 c'est-à-dire sans contraintes imposées sur les valeurs possibles des vecteurs nodaux, soit avec contraintes. Les vecteurs nodaux désignent les vecteurs déplacement des noeuds du maillage. L'optimisation avec contraintes

est directement liée à l'optimisation libre et fait l'objet d'un mode de réalisation développé plus loin.

La technique d'optimisation libre employée ici exploite les caractéristiques intéressantes de la méthode de Gauss-Newton (convergence rapide de l'optimum) et de la méthode du gradient avec pas adaptatif (convergence globale vers un optimum local) pour résoudre le système linéaire à suivre. Cette technique est une correction itérative des vecteurs déplacement  $\bar{d}(x,y)$  permettant d'obtenir dès le départ une approximation grossière du mouvement. Le nombre d'itérations  $k$  pour cette optimisation des vecteurs déplacement est soit spécifié par l'utilisateur en début de procédé, soit fonction d'un seuil lié à la variation maximale entre deux valeurs consécutives de vecteurs nodaux pour deux itérations successives. Nous développons ci-après l'extension Marquardt de la méthode d'optimisation de Gauss Newton.

L'expression des corrections  $\delta D^{k+1}$  à l'itération  $k+1$  des vecteurs déplacement selon cette méthode est donnée par le système système linéaire suivant:

$$D^{k+1} = D^k - \left[ R^k + \alpha \cdot I_{2N} \right]^{-1} \cdot \nabla E^k \Leftrightarrow -H \cdot \delta D^{k+1} = \nabla E^k \quad (1)$$

avec :

- $D^{k+1}$  une matrice colonne de  $2N$  éléments comprenant les composantes  $d_x$  et  $d_y$  des vecteurs nodaux à l'itération  $k+1$ ,  $N$  étant le nombre de noeuds du maillage à l'étape courante;

-  $D^k$  une matrice colonne de  $2N$  éléments comprenant les composantes  $d_x$  et  $d_y$  des vecteurs nodaux à l'itération  $k$ ;

-  $H = [R^k + \alpha \cdot I_{2N}]$

5 -  $I_{2N}$  la matrice identité de dimension  $2N$ ;

-  $\nabla E^k = \begin{pmatrix} \nabla_x E^k \\ \nabla_y E^k \end{pmatrix}$  matrice colonne de  $2N$  éléments dont  
 $N$  éléments  $\nabla_{x,n} E^k$  et  $N$  éléments  $\nabla_{y,n} E^k$ ,  $n$   
désignant un noeud du maillage et  
prenant tour à tour les valeurs  $(1 \dots N)$ ;  
10 avec

$$\nabla_{x,n} E^k = 2 \cdot \sum_{c \in \text{supp}(n)} \sum_{(x,y) \in c} \text{DFD}_k(x,y) \cdot \frac{\partial I_1(x-d_x, y-d_y)}{\partial x} \cdot \psi_n^c(x,y)$$

$$\nabla_{y,n} E^k = 2 \cdot \sum_{c \in \text{supp}(n)} \sum_{(x,y) \in c} \text{DFD}_k(x,y) \cdot \frac{\partial I_1(x-d_x, y-d_y)}{\partial y} \cdot \psi_n^c(x,y)$$

où  $\text{DFD}_k(x,y) = Y_2(x,y) - Y_1(x-d_x, y-d_y)$  à l'itération  $k$

où  $\text{supp}(n)$  représente le support de la fonction de  
15 base  $\psi_n^c(x,y)$  attachée au noeud  $n$ , c'est-à-dire  
l'ensemble des triangles ayant le noeud  $n$  pour  
sommet;

-  $R^k = \begin{pmatrix} R^{k,xx} & R^{k,xy} \\ R^{k,yx} & R^{k,yy} \end{pmatrix}$  une matrice carrée de dimension  $2N$

20

$$\text{où } R_{mn}^{k,xx} = 2 \cdot \sum_{c \in \text{supp}(mn)} \sum_{(x,y) \in c} \left( \frac{\partial I_1(x-d_x, y-d_y)}{\partial x} \right)^2 \cdot \psi_m^c(x,y) \cdot \psi_n^c(x,y)$$

$$R_{mn}^{k,yx} = 2. \sum_{c \in \text{supp}(mn)} \sum_{(x,y) \in c} \left( \frac{\partial I_1(x-d_x, y-d_y)}{\partial x} \right) \left( \frac{\partial I_1(x-d_x, y-d_y)}{\partial y} \right) \cdot \psi_m^c(x,y) \cdot \psi_n^c(x,y)$$

$$R_{mn}^{k,yx} = R_{mn}^{k,xy}$$

$$R_{mn}^{k,yy} = 2. \sum_{c \in \text{supp}(mn)} \sum_{(x,y) \in c} \left( \frac{\partial I_1(x-d_x, y-d_y)}{\partial y} \right)^2 \cdot \psi_m^c(x,y) \cdot \psi_n^c(x,y)$$

où m et n désignent des noeuds du maillage et  
 5 prennent tour à tour les valeurs (1...N) et où  
 $\text{supp}(nm) = \text{supp}(n) \cap \text{supp}(m)$ .

$$- \alpha = \max_n (|\nabla_n E^k| \cdot \|\psi_n\|)$$

où  $\|\psi_n\|$  est une norme fonctionnelle de  $\psi_n$ . Les  
 deux normes les plus intéressantes sont:

$$10 \quad \|\psi_n\| = \sup_{(x,y) \in \text{supp}(n)} |\psi_n(x,y)| = 1 \quad \text{ou}$$

$$\|\psi_n\| = \sqrt{\frac{1}{|\text{supp}(n)|} \sum_{(x,y) \in \text{supp}(n)} [\psi_n(x,y)]^2}$$

$|\text{supp}(n)|$  désigne le cardinal de la région discrète  
 $\text{supp}(n)$ .

A la fin de cette phase d'optimisation, on dispose de N  
 15 vecteurs nodaux se rapportant chacun à un noeud du  
 maillage.

Selon un mode de réalisation en variante du gradient  
 adaptatif, on peut également envisager d'utiliser une  
 20 technique de décomposition dite "LDL<sup>t</sup> profil" en langage  
 technique pour résoudre le système linéaire (1) et  
 accélérer le traitement. Cette technique est décrite  
 dans l'ouvrage intitulé "Analyse numérique matricielle  
 appliquée à l'art de l'ingénieur" de Théodore Lascaux,  
 25 Tome 1, pp 295-299, Ed. Masson, 1986.

Selon une caractéristique importante de l'invention, le maillage est ensuite affiné localement par division des triangles lorsque l'écart entre l'image  $\hat{I}_2$  et l'image  $I_2$  sur ces triangles est trop élevé. C'est pourquoi, selon l'étape (c) du procédé, on calcule un écart E entre l'image  $\hat{I}_2$  et l'image  $I_2$  pour chaque triangle e. L'écart E est défini de la manière suivante

$$E = \sum_{(x,y) \in e} DFD^2(x,y)$$

avec  $DFD(x,y) = Y_2(x,y) - Y_1(x-d_x, y-d_y)$

Bien entendu, pour calculer cet écart pour chaque triangle, il faut avoir préalablement calculé la valeur des vecteurs déplacement de tous les points de l'image  $I_2$  par interpolation à partir des vecteurs nodaux obtenus au terme de l'étape (b).

Ensuite, conformément à l'étape (d), on affine le maillage sur une fraction discrète de l'ensemble des triangles du modèle. Cette fraction est déterminée selon un critère relatif aux écarts E calculés précédemment à l'étape (c). Pour opérer cet affinage, on peut par exemple classer les triangles du modèle par ordre décroissant de leurs écarts E et subdiviser les X premiers triangles de ce classement en triangles de taille inférieure. X est une fraction prédéterminée du nombre d'éléments finis dans le modèle, par exemple la moitié.

Pour affiner localement le maillage, on peut également prévoir de comparer l'ensemble des écarts E calculés à

l'étape (c) à un écart seuil qui est fonction de la taille de l'élément fini considéré, et de subdiviser en éléments finis de taille inférieure les éléments finis dont les écarts  $E$  sont supérieurs à l'écart seuil.

5

La subdivision d'un triangle  $e$  en quatre triangles de taille inférieure est illustré à la figure 2. Le triangle  $e$  est défini par les trois sommets  $P_1$ ,  $P_2$  et  $P_3$  ayant pour vecteurs déplacement respectifs  $\bar{d}_1$ ,  $\bar{d}_2$ ,  $\bar{d}_3$ .  
10 Pour le subdiviser en quatre, on définit trois nouveaux noeuds  $P_4$ ,  $P_5$  et  $P_6$  au milieu des trois côtés  $P_1P_3$ ,  $P_1P_2$ ,  $P_2P_3$  du triangle. On attribue à chacun de ces trois nouveaux noeuds un vecteur déplacement égal à la  
15 moyenne des vecteurs déplacement des deux sommets du côté auquel il appartient, respectivement  $(\bar{d}_1 + \bar{d}_3)/2$ ,  $(\bar{d}_1 + \bar{d}_2)/2$ ,  $(\bar{d}_2 + \bar{d}_3)/2$ . Les triangles adjacents au triangle  $e$  ayant pour côté  $P_1P_2$ ,  $P_2P_3$  ou  $P_1P_3$  sont alors eux-mêmes subdivisés en deux ou trois.

20 On obtient ainsi un modèle d'éléments finis dont le maillage a été affiné localement. Selon l'étape (e), on répète ensuite les étapes (b), (c) et (d) en prenant comme modèle à optimiser le modèle obtenu au terme de l'étape (d) précédente. Et, on répète cette succession  
25 d'étapes jusqu'à satisfaire un critère d'arrêt. Ce critère d'arrêt est par exemple un nombre prédéterminé d'éléments finis à atteindre au terme de l'étape (d).

On peut également prévoir d'arrêter le procédé lorsque  
30 les écarts  $E$  de l'ensemble des éléments finis du modèle obtenu au terme de l'étape (c) précédente sont inférieurs à un écart seuil.



Selon un mode de réalisation amélioré illustré figure 3, on effectue les étapes (b) à (e) en s'appuyant sur plusieurs niveaux de résolution d'images  $I_1$  et  $I_2$ . Cette variante a pour but d'améliorer et d'accélérer la convergence des calculs des vecteurs déplacement. Pour ce faire, on définit tout d'abord pour chaque couple d'images numériques  $I_1$  et  $I_2$ , un ensemble de  $R$  images  $I_i^r$  de niveau de résolution  $r$  et de luminance  $Y_i^r$ ,  $r$  prenant tour à tour les valeurs  $(R-1, R-2, \dots, 0)$  et  $i$  les valeurs  $(1, 2)$  puis on effectue les étapes (b) à (e) pour chaque niveau de résolution  $r$ , à partir du niveau de résolution  $r=R-1$  jusqu'au niveau  $r=0$ . A noter que les images  $I_1^0$  et  $I_2^0$  correspondent aux images numériques  $I_1$  et  $I_2$ .

15

En pratique, les images  $I_i^r$  sont obtenues par filtrage de l'image  $I_i$  au moyen d'un filtre passe-bas linéaire ne laissant passer que  $1/2^r$  de la bande spectrale de l'image considérée dans les directions  $x$  et  $y$ , c'est-à-dire un filtre de réponse impulsionnelle  $h_n^r$  ayant une bande passante  $BP_r = [-1/2^{r+1}, 1/2^{r+1}]$  dans l'espace des fréquences normalisées  $[-1/2, 1/2]$ . L'image  $I_i^r$  est définie par la relation suivante:

20

$$Y_i^r(x, y) = \sum_{u=-M}^M \sum_{v=-M}^M Y_i(x-u, y-v) h_u^r h_v^r$$

25

Le filtre utilisé est par exemple une approximation d'un filtre idéal et sa réponse impulsionnelle est définie de la manière suivante:

$$h_n^r = \frac{s_n^r}{S} \quad \text{avec} \quad S = \sum_{n=-M}^M s_n^r \quad -M \leq n \leq M$$

$$\text{et} \quad s_n^r = 2B \cdot \text{sinc}(2\pi B_r n) = 2B \frac{\sin 2\pi B_r n}{2\pi B_r n}$$

$$B_r = \frac{1}{2^{r+1}}$$

où B et M sont des entiers naturels  
M = +∞ dans le cas idéal.

5 Comme indiqué précédemment, cette optimisation sur  
plusieurs niveaux de résolution permet d'améliorer et  
d'accélérer la convergence des calculs des vecteurs  
déplacement. A noter que le nombre de niveaux de  
résolution R choisi peut différer du nombre d'affinages  
10 successifs effectués sur le maillage.

Selon un mode de réalisation préféré, on propose de  
rajouter des contraintes de compacité sur chaque  
triangle du modèle de manière à empêcher le  
15 retournement des triangles.

La compacité d'un triangle de sommets  $P_i$ ,  $P_j$ ,  $P_k$  est  
définie par la relation suivante:

$$C(P_i, P_j, P_k) = \frac{4 * \pi * S(P_i, P_j, P_k)}{P^2(P_i, P_j, P_k)}$$

20 avec  $C(P_i, P_j, P_k) \in ]0, 1[$ ; et

$S(P_i, P_j, P_k)$  et  $P(P_i, P_j, P_k)$  représentant  
respectivement la surface et la périmètre du  
triangle  $(P_i, P_j, P_k)$ ;

25 Si on empêche la compacité d'un triangle de tendre vers  
zéro, on l'empêche ainsi de se retourner. C'est  
pourquoi, pour éviter les retournements de triangles,  
chaque triangle doit vérifier la contrainte suivante :

30  $C(P_i + \bar{d}_{P_i}, P_j + \bar{d}_{P_j}, P_k + \bar{d}_{P_k}) \geq K * C(P_i, P_j, P_k)$

$$\Leftrightarrow K * C(P_i, P_j, P_k) - C(P_i + \bar{d}_{P_i}, P_j + \bar{d}_{P_j}, P_k + \bar{d}_{P_k}) \leq 0$$

$$\Leftrightarrow g_e(\bar{D}) \leq 0; e = \text{triangle}(P_i, P_j, P_k)$$

5 où K est un paramètre fixant la variation de compacité autorisée et  $\bar{D}$  est le vecteur colonne des vecteurs déplacement des noeuds du modèle.

10 Selon l'invention, on associe une telle contrainte à chaque triangle au moment de l'optimisation des vecteurs déplacement. L'étape d'optimisation des vecteurs déplacement revient à un système du type:

$$\begin{cases} \min_{\bar{D}} E(\bar{D}) \\ g_e(\bar{D}) \leq 0 \quad \forall e \in I \\ \bar{D} \in \mathbb{R}^{2N} \end{cases}$$

où  $-E(\bar{D})$  représente l'écart entre l'image  $I_2$  et l'image prédite  $\hat{I}_2$ ;

- 15        -  $g_e$  est une contrainte liée au triangle e;  
           - I est l'ensemble des triangles du maillage.

Pour résoudre les problèmes d'optimisation sous contraintes, on prévoit d'utiliser la technique dite du Lagrangien augmenté. Cette technique est décrite dans  
 20 l'ouvrage intitulé "Théories et algorithmes" de Michel Minoux, Tome 1, pp 257-260, Dunod 1983. Cette technique combine deux techniques d'optimisation: l'optimisation Lagrangienne et l'optimisation de pénalités extérieures.

25

Selon cette technique, résoudre le système précédent revient à résoudre le système sans contraintes suivant:

$$\min_{\bar{D}} \left( E(\bar{D}) + \sum_{e \in I} G(g_e(\bar{D}), \lambda_e, r_e) \right)$$

où  $r_e$  est un élément de pénalité,  
 $\lambda_e$  est un multiplicateur de Lagrange  
 $G$  est un Lagrangien augmenté déterminé par la  
relation:

$$5 \quad G(g_e(\bar{D}), \lambda_e, r_e) = \begin{cases} \lambda_e g_e(\bar{D}) + r_e g_e(\bar{D}) & \text{si } r_e > 0 \text{ et } g_e(\bar{D}) \geq 0 \\ \lambda_e g_e(\bar{D}) & \text{si } r_e = 0 \text{ et } g_e(\bar{D}) \geq 0 \\ 0 & \text{si } g_e(\bar{D}) \leq 0 \end{cases}$$

Les contraintes  $g_e$  ont été préalablement linéarisées  
par la formule de Taylor à l'ordre 1 :

$$g_e(\bar{D}) \approx g_e(P_i, P_j, P_k) + \sum_{P_l = P_i, P_j, P_k} \bar{d}_{P_l} \frac{\partial g_e}{\partial \bar{d}_{(P_i, P_j, P_k)}}(P_l)$$

- 10 La méthode d'optimisation est alors la suivante:  
- on initialise  $k=0$   
- on pose  $\lambda = 0$  et  $r=0$ ,  $\lambda \in \mathcal{H}^m$  et  $r \in \mathcal{H}^m$ , et  $m$  désigne le  
nombre de triangles du modèle  
- on détermine ensuite le minimum  $\delta D^{k+1}(\lambda, r)$  tel que, à  
15 l'itération  $k+1$ ,

$$-H.\delta D^{k+1} = \nabla E^k - C^t \gamma$$

où  $\gamma^t = (\lambda, r)$ ,  $C^t$  est une matrice de  $\mathcal{H}^{2N} \times \mathcal{H}^{2m}$   
 $C^t \gamma$  forme une matrice des contraintes linéarisées  
ayant pour coefficients les valeurs suivantes:

$$20 \quad C_{i,l} = \begin{cases} 0 & \text{si } P_l = P_i, P_j \text{ ou } P_k \\ \partial_{\bar{d}_{P_l}} g_e(P_i, P_j, P_k) & \text{sinon} \end{cases} \quad \begin{cases} \text{si } g_e(\bar{D}) \leq 0 \\ \text{sinon} \end{cases}$$

où  $e$  représente le triangle de sommets  $P_i, P_j, P_k$ .

Puis, on effectue la mise à jour de  $\lambda$  par l'algorithme  
d'Uzawa et on augmente  $r$  puis on répète l'opération  
35 précédente jusqu'à ce que toutes les contraintes soient  
vérifiées. On passe ensuite à l'itération  $k+2$ . A noter

que l'algorithme d'Uzawa est développé en détail dans l'ouvrage intitulé "Théories et algorithmes" de Michel Minoux, Tome 1, Dunod 1983.

- 5 Selon un dernier mode de réalisation, on peut également prévoir d'introduire des contraintes pour éviter le débordement du maillage obtenu après application des vecteurs déplacement au-delà du domaine de l'image I1. Ce mode consiste à forcer les noeuds périphériques du
- 10 maillage à rester sur les bords de l'image après application des vecteurs déplacement. Pour cela, les composantes abscisses  $\delta D^{k+1}$  pour les noeuds périphériques sur les bords gauche et droit de l'image I2 sont annulées à chaque itération k. De même, les
- 15 composantes ordonnées  $\delta D^{k+1}$  pour les bords haut et bas de l'image I2 sont annulées à chaque itération k.

Dans le cas d'une application de codage, on prévoit d'associer au maillage un arbre partiellement

20 quaternaire. A chaque subdivision du maillage (étape d), on ajoute un niveau supplémentaire dans l'arbre. Chaque niveau de l'arbre représente alors un niveau de maillage et chaque nœud de l'arbre représente un triangle du niveau de maillage correspondant. Le train

25 binaire généré pendant l'étape de codage est obtenu par lecture de l'arbre niveau par niveau. Dans ce train binaire, les vecteurs déplacement associés à chaque nœud de l'arbre sont avantageusement codés de manière différentielle par rapport aux vecteurs déplacement de

30 leur nœud père lorsque ce dernier existe et sont ordonnancés niveau par niveau. L'étape de décodage correspondante consiste à régénérer cet arbre à partir du train binaire reçu en provenance du codeur.

## REVENDICATIONS

1. Procédé d'estimation du mouvement entre deux  
5 images numériques,  $I_1$  et  $I_2$ , de luminance  $Y_1$  et  $Y_2$ ,  
destiné à générer, pour chaque point de coordonnées  $x, y$   
de l'image  $I_2$  un vecteur déplacement  $\vec{d}(x, y) = (d_x, d_y)$  de  
manière à former une image  $\hat{I}_2$  à partir de l'image  $I_1$ ,  
de luminance  $\hat{Y}_2(x, y) = Y_1(x - d_x, y - d_y)$ , qui soit une  
10 approximation de l'image  $I_2$ ,  
caractérisé en ce qu'il comporte les étapes suivantes:
- (a) - définir un modèle d'éléments finis initial  
comportant un maillage dont les noeuds sont des points  
de l'image  $I_2$ , un vecteur déplacement à chaque noeud  
15 dudit maillage, et une formule d'interpolation pour  
calculer la valeur du vecteur déplacement de chaque  
point de l'image  $I_2$  à partir des valeurs des vecteurs  
déplacements des noeuds de la maille à laquelle il  
appartient,
- 20 (b) - optimiser de manière globale les valeurs de  
l'ensemble des vecteurs déplacement du modèle selon une  
méthode différentielle,
- (c) - calculer un écart  $E$  entre l'image  $\hat{I}_2$  et l'image  
 $I_2$  pour chaque élément fini ou maille,
- 25 (d) - opérer un maillage plus fin sur une fraction  
discrète de l'ensemble des éléments finis déterminée  
selon un critère relatif aux écarts  $E$ , et attribuer un  
vecteur déplacement à chaque nouveau noeud de maillage,

(e) - répéter les étapes (b), (c) et (d) sur le modèle d'éléments finis obtenu au terme de l'étape (d) précédente, jusqu'à satisfaire un critère d'arrêt.

- 5 2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que, pour opérer un maillage plus fin sur une fraction discrète de l'ensemble des éléments finis à l'étape (d), on classe ledit ensemble des éléments finis par ordre décroissant de leurs écarts E et on subdivise les
- 10 X premiers éléments finis de ce classement en éléments finis de taille inférieure, X représentant une fraction prédéterminée du nombre des éléments finis de l'ensemble.
- 15 3. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que, pour opérer un maillage plus fin sur une fraction discrète de l'ensemble des éléments finis à l'étape (d), on compare l'ensemble des écarts E calculés à l'étape (c) à un écart seuil qui est fonction de la
- 20 taille de l'élément fini considéré, et on subdivise en éléments finis de taille inférieure les éléments finis dont les écarts E sont supérieurs à l'écart seuil.
4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que ledit critère d'arrêt est un
- 25 nombre prédéterminé d'éléments finis constituant le modèle d'éléments finis, à atteindre au terme de l'étape (d).

5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que ledit critère d'arrêt de l'étape (e) est satisfait lorsque les écarts E de l'ensemble des éléments finis du modèle obtenu au terme de l'étape (d) précédente sont inférieurs à un écart seuil fonction de la taille de l'éléments fini considéré.

6. Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce qu'on définit en outre, pour chaque image numérique  $I_1$  et  $I_2$ , un ensemble de R images  $I_i^r$  de niveau de résolution r et de luminance  $Y_i^r$  avec r prenant les valeurs  $(0, \dots, R-1)$  et i les valeurs 1 et 2, les images  $I_1^0$  et  $I_2^0$  correspondant aux images numériques  $I_1$  et  $I_2$ , et en ce qu'on effectue les étapes (b) à (e) pour chaque niveau de résolution r, à partir du niveau  $r=R-1$  jusqu'au niveau  $r=0$ .

7. Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce que les ensembles de R images de niveau de résolution r sont obtenus par filtrage des images  $I_1$  et  $I_2$  suivant les deux directions x et y au moyen d'un filtre passe-bas de réponse impulsionnelle  $h_n^r$ , chaque image  $I_i^r$  étant définie par la relation suivante:

$$Y_i^r(x,y) = \sum_{u=-M}^M \sum_{v=-M}^M Y_i(x-u, y-v) h_u^r h_v^r$$

avec M entier naturel.



8. Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que la réponse impulsionnelle  $h_n^r$  est définie de la manière suivante:

$$h_n^r = \frac{s_n^r}{S} \quad \text{avec} \quad s_n^r = 2B \cdot \text{sinc}(2\pi B_r n) = 2B \frac{\sin 2\pi B_r n}{2\pi B_r n}$$

5

$$S = \sum_{n=-M}^M s_n^r$$

$$B_r = \frac{1}{2^{r+1}}$$

B un entier naturel.

9. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que les vecteurs déplacement initiaux sont des vecteurs nuls.

10. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'écart E entre l'image  $\hat{I}_2$  et l'image  $I_2$  pour chaque élément fini e est défini par la relation suivante:

$$E = \sum_{(x,y) \in e} DFD^2(x,y)$$

$$\text{où} \quad DFD(x,y) = Y_2(x,y) - Y_1(x-d_x, y-d_y)$$

11. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que la formule d'interpolation pour calculer la valeur du vecteur déplacement d'un point P de coordonnées (x,y) dans l'image  $I_2$  appartenant à l'élément fini e de sommets  $P_i$ ,  $P_j$  et  $P_k$  de coordonnées respectives  $(x_i, y_i)$ ,  $(x_j, y_j)$  et  $(x_k, y_k)$  est la suivante:

$$\bar{d}(x,y) = \sum_{l=i,j,k} \psi_l(x,y) \cdot \bar{d}(x_l, y_l)$$

où  $\psi_l$  est une fonction de la forme

$$\begin{cases} \psi_l(x,y) = \alpha_l + \beta_l x + \gamma_l y & (x,y) \in e \\ \sum_{l=i,j,k} \psi_l(x,y) = 1 \\ \psi_l(x,y) = 0 & (x,y) \notin e \end{cases}$$

- 5 12. Procédé selon l'une des revendications 1 à 11, caractérisé en ce que la méthode différentielle d'optimisation des vecteurs déplacement est la méthode de Gauss-Newton.
- 10 13. Procédé selon l'une des revendications 1 à 11, caractérisé en ce que la méthode différentielle d'optimisation des vecteurs déplacement est l'extension de Marquardt de la méthode de Gauss-Newton.
- 15 14. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'une contrainte de compacité est imposée sur chaque élément fini au moment de l'optimisation des vecteurs déplacement du modèle d'éléments finis, ladite contrainte consistant à
- 20 empêcher la compacité de chaque élément fini de tendre vers zéro.
15. Procédé selon la revendication 14, caractérisé en ce que la contrainte de compacité sur un élément fini e de sommets  $P_i$ ,  $P_j$ ,  $P_k$  et de compacité  $C(P_i, P_j, P_k)$  est
- 25 définie par la relation suivante:

$$C(P_i + \bar{d}_{P_i}, P_j + \bar{d}_{P_j}, P_k + \bar{d}_{P_k}) \geq K * C(P_i, P_j, P_k)$$

où  $\bar{d}_{P_i}$ ,  $\bar{d}_{P_j}$  et  $\bar{d}_{P_k}$  représentent les vecteurs déplacement des sommets  $P_i$ ,  $P_j$ ,  $P_k$  au cours de l'étape d'optimisation,

5 et K est un paramètre de compacité.

16. Procédé selon la revendication 14 ou 15, caractérisé en ce que l'optimisation des vecteurs déplacement sous contraintes sur les éléments finis est  
10 résolue par la technique dite du Lagrangien augmenté.

17. Procédé selon la revendication 16, caractérisé en ce que les contraintes sont employées sous une forme linéarisée dans la technique dite du Lagrangien  
15 augmenté.

18. Procédé selon l'une des revendications 12, 13 ou 17, caractérisé en ce que les méthodes d'optimisation des vecteurs déplacement utilisent une technique LDL<sup>t</sup>  
20 profil.

19. Application du procédé d'estimation de mouvement entre deux images numériques selon l'une des revendications 1 à 18 pour le codage d'images  
25 caractérisée en ce que la subdivision fractionnaire du maillage opérée à l'étape d) du procédé d'estimation de mouvement est associée à un arbre partiellement quaternaire dans lequel chaque niveau représente un niveau de maillage et chaque noeud représente un

triangle du niveau donné, et en ce qu'est généré un train binaire décrivant le dit arbre.

20. Application du procédé d'estimation de mouvement  
5 entre deux images numériques selon la revendication 19 caractérisée en ce que les vecteurs déplacement associés à chaque noeud dudit arbre sont codés de manière différentielle par rapport aux vecteurs déplacement de leur noeud père lorsque ce dernier  
10 existe et sont ordonnancés dans ledit train binaire suivant un parcours en largeur dudit arbre.

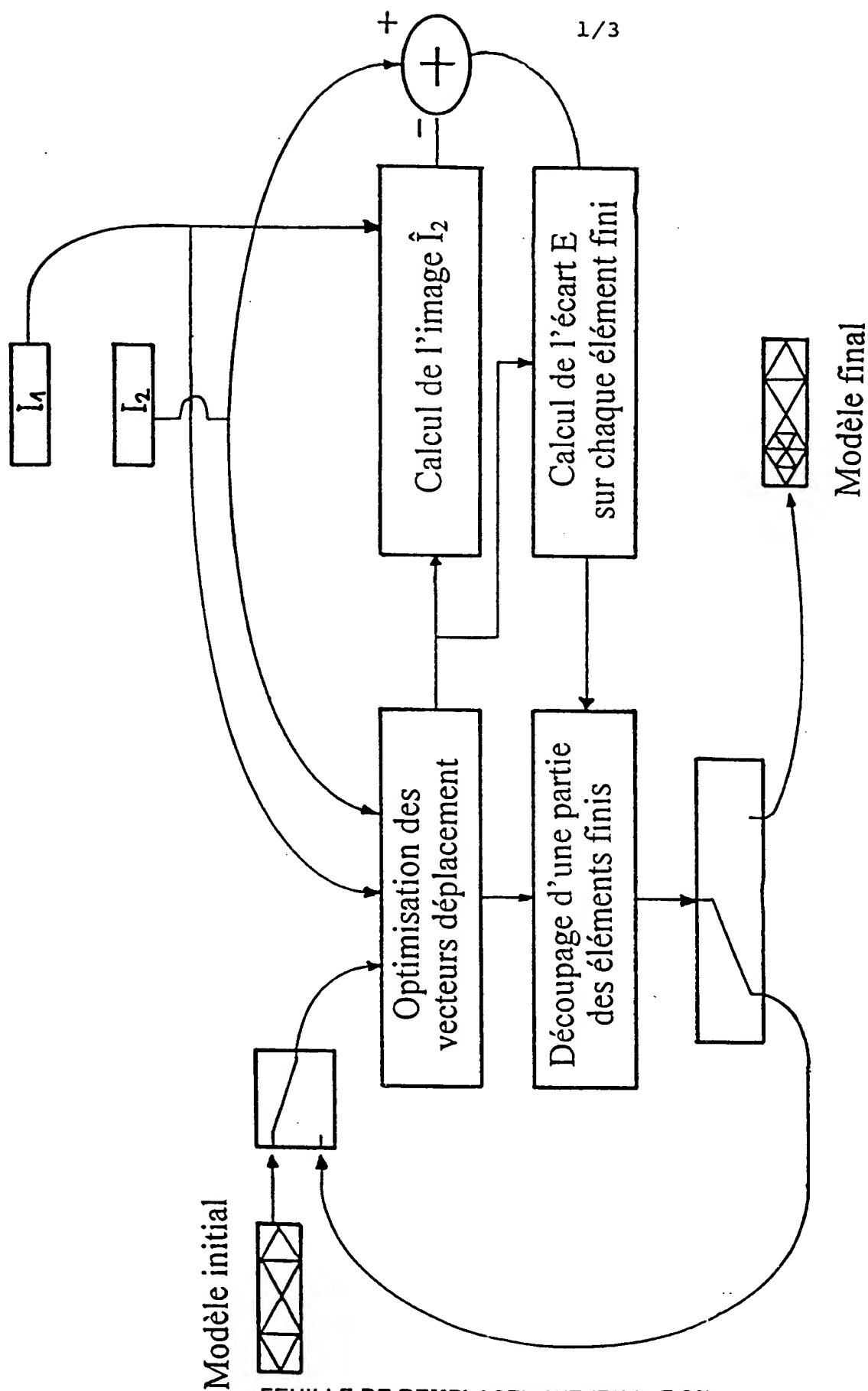
21. Application du procédé d'estimation de mouvement entre deux images numériques selon l'une des  
15 revendications 1 à 18 pour le décodage d'images caractérisée en ce que la subdivision fractionnaire du maillage opérée à l'étape d) du procédé d'estimation de mouvement est associée à un arbre partiellement quaternaire dans lequel chaque niveau représente un  
20 niveau de maillage et chaque noeud représente un triangle du niveau donné, et en ce que ledit arbre est généré à partir d'un train binaire de données codées décrivant ledit arbre.

25 22. Application du procédé d'estimation de mouvement entre deux images numériques selon la revendication 21, caractérisée en ce que les données codées se rapportant à un même niveau de l'arbre sont regroupées ensemble dans le train binaire de manière à générer l'arbre  
30 niveau par niveau au fur et à mesure de la lecture du train.

23. Application du procédé selon l'une des revendications précédentes à au moins un des domaines appartenant au groupe des domaines suivants :

- 5 - compression de séquences d'images ; et
- compression de données dans des espaces de dimension supérieure à 2.

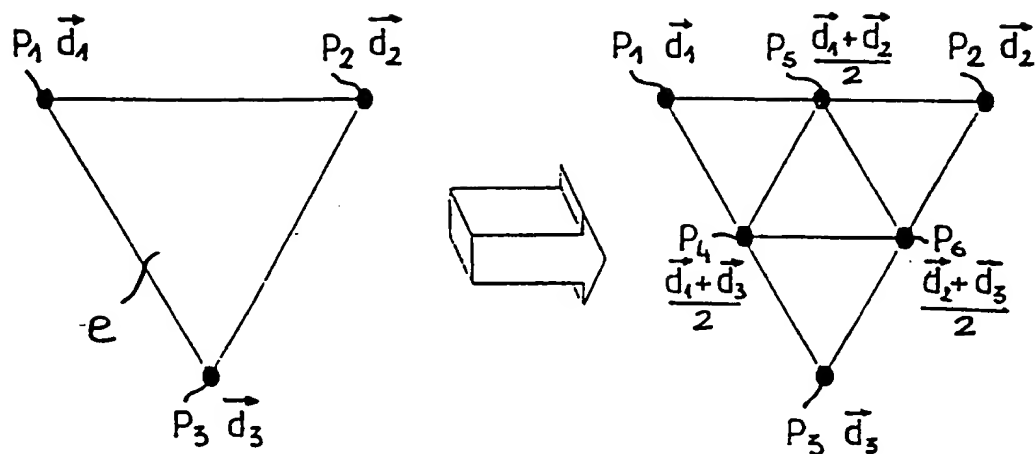
**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

FIG.1

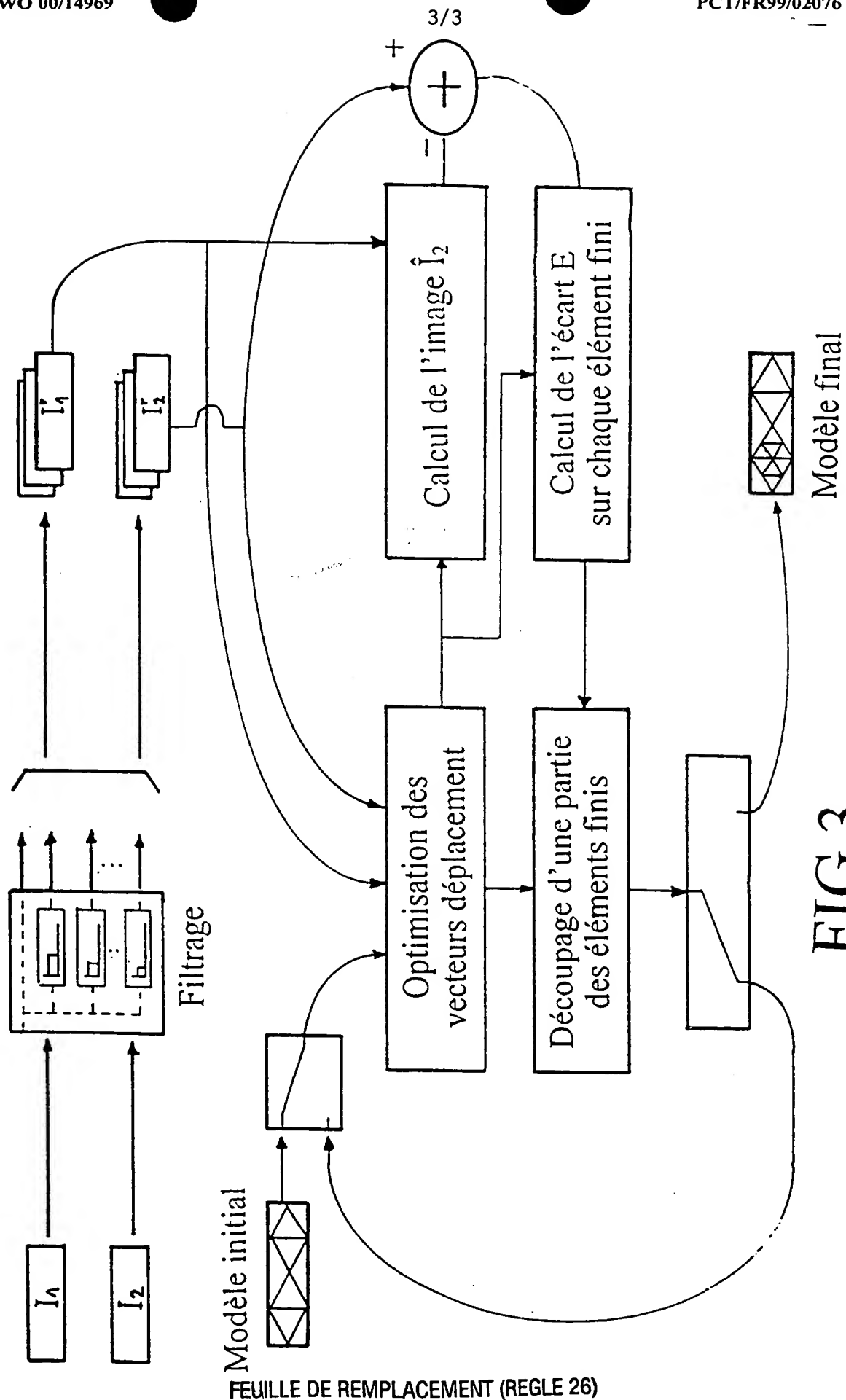
**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



2/3

FIG.2

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



# FIG. 3

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

onal Application No

PCT/FR 99/02076

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
 IPC 7 H04N7/36 H04N7/26

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H04N G06T

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	SZELISKI R ET AL: "MOTION ESTIMATION WITH QUADTREE SPLINES" IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE, vol. 18, no. 12, 1 December 1996 (1996-12-01), pages 1199-1210, XP000640566 paragraph '0003! paragraph '0004! paragraph '06.1! figure 8	1, 10-13
Y		6-9
A		2-5, 14-18

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents:

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

16 December 1999

Date of mailing of the international search report

22/12/1999

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
 NL - 2280 HV Rijswijk  
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl.  
 Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Berbain, F

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

ional Application No

PCT/FR 99/02076

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	SANSON H: "TOWARD A ROBUST PARAMETRIC IDENTIFICATION OF MOTION ON REGIONS OF ARBITRARY SHAPE BY NON-LINEAR OPTIMIZATION" PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE ON IMAGE PROCESSING (ICIP), WASHINGTON, OCT. 23 - 26, 1995, vol. 1, 23 October 1995 (1995-10-23), pages 203-206, XP000624210 INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS	6-9
A	the whole document	1-5, 10-18
X	MOULIN P ET AL: "APPLICATION OF A MULTIREOLUTION OPTICAL-FLOW-BASED METHOD FOR MOTION ESTIMATION TO VIDEO CODING" PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON CIRCUITS AND SYSTEMS (ISCS), CHICAGO, MAY 3 - 6, 1993, vol. 1, 3 May 1993 (1993-05-03), pages 1-4, XP000409920 INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS	1
A	the whole document	2-23
X	EP 0 765 087 A (SHARP KK) 26 March 1997 (1997-03-26) page 7, line 19 - line 23 page 22, line 22 - line 29 figures 19-22, 25-31	1
A		2-23
A	ALTUNBASAK Y ET AL: "TWO-DIMENSIONAL OBJECT-BASED CODING USING A CONTENT-BASED MESH AND AFFINE MOTION PARAMETERIZATION" PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE ON IMAGE PROCESSING (ICIP), WASHINGTON, OCT. 23 - 26, 1995, vol. 2, 23 October 1995 (1995-10-23), pages 394-397, XP000623991 INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS paragraph '0002! paragraph '03.1! paragraph '04.1!	1-23
	--- -/--	

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

ional Application No

PCT/FR 99/02076

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category	Citation of document, with indication where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DUGELAY J -L ET AL: "DIFFERENTIAL METHODS FOR THE IDENTIFICATION OF 2D AND 3D MOTION MODELS IN IMAGE SEQUENCES" SIGNAL PROCESSING. IMAGE COMMUNICATION, vol. 7, no. 1, 1 March 1995 (1995-03-01), pages 105-127, XP000495187 paragraph '03.2! paragraph '03.3! paragraph '05.1! ---	1-18
A	EP 0 721 287 A (DAE WOO ELECTRONICS CO LTD) 10 July 1996 (1996-07-10) page 5, line 5 - line 36 figures 2,3 ---	1-18
P,A	LECHAT P ET AL: "Scalable image coding with fine granularity based on hierarchical mesh" VISUAL COMMUNICATIONS AND IMAGE PROCESSING '99, SAN JOSE, CA, USA, 25-27 JAN. 1999, vol. 3653, pt.1-2, 25 - 27 January 1999, pages 1130-1142, XP000862993 Proceedings of the SPIE - The International Society for Optical Engineering, 1998, SPIE-Int. Soc. Opt. Eng, USA ISSN: 0277-786X abstract paragraph '02.3! paragraph '04.2! paragraph '04.3! figures 3,4 ---	1-23
A	CHANG J -Y ET AL: "Edge-based motion compensated classified DCT with quadtree for image sequence coding" SIGNAL PROCESSING. IMAGE COMMUNICATION,NL,ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS, AMSTERDAM, vol. 11, no. 3, 1 January 1998 (1998-01-01), page 187-197 XP004107302 ISSN: 0923-5965 paragraph '0003! ---	1-23
A	US 5 296 927 A (GUILLLOTEL PHILIPPE) 22 March 1994 (1994-03-22) abstract figure 1 -----	1-23

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Original Application No

PCT/FR 99/02076

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0765087	A	26-03-1997	JP 9065342 A	07-03-1997
			JP 9172644 A	30-06-1997
			JP 9261654 A	03-10-1997
			US 5886742 A	23-03-1997
EP 0721287	A	10-07-1996	US 5689306 A	18-11-1997
US 5296927	A	22-03-1994	FR 2664117 A	03-01-1992
			AT 126959 T	15-09-1995
			DE 69112362 D	28-09-1995
			DE 69112362 T	08-02-1996
			DK 489890 T	27-12-1995
			EP 0489890 A	17-06-1992
			ES 2076537 T	01-11-1995
			WO 9200651 A	09-01-1992
			GR 3017635 T	31-01-1996
			JP 5502564 T	28-04-1993



# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

e Internationale No

PCT/FR 99/02076

**A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE**  
CIB 7 H04N7/36 H04N7/26

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

**B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE**

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 7 H04N G06T

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

**C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS**

Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	SZELISKI R ET AL: "MOTION ESTIMATION WITH QUADTREE SPLINES" IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE, vol. 18, no. 12, 1 décembre 1996 (1996-12-01), pages 1199-1210, XP000640566 alinéa '0003! alinéa '0004! alinéa '06.1! figure 8	1,10-13
Y		6-9
A		2-5, 14-18

☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

\* Catégories spéciales de documents cités:

- "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

"Z" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

16 décembre 1999

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

22/12/1999

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale  
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Berbain, F

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

le Internationale No

PCT/FR 99/02076

C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie	Identification des documents cités, avec le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	SANSON H: "TOWARD A ROBUST PARAMETRIC IDENTIFICATION OF MOTION ON REGIONS OF ARBITRARY SHAPE BY NON-LINEAR OPTIMIZATION" PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE ON IMAGE PROCESSING (ICIP), WASHINGTON, OCT. 23 - 26, 1995, vol. 1, 23 octobre 1995 (1995-10-23), pages 203-206, XP000624210 INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS	6-9
A	le document en entier	1-5, 10-18
X	--- MOULIN P ET AL: "APPLICATION OF A MULTIREOLUTION OPTICAL-FLOW-BASED METHOD FOR MOTION ESTIMATION TO VIDEO CODING" PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON CIRCUITS AND SYSTEMS (ISCS), CHICAGO, MAY 3 - 6, 1993, vol. 1, 3 mai 1993 (1993-05-03), pages 1-4, XP000409920 INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS	1
A	le document en entier	2-23
X	EP 0 765 087 A (SHARP KK) 26 mars 1997 (1997-03-26) page 7, ligne 19 - ligne 23 page 22, ligne 22 - ligne 29 figures 19-22,25-31	1
A	---	2-23
A	ALTUNBASAK Y ET AL: "TWO-DIMENSIONAL OBJECT-BASED CODING USING A CONTENT-BASED MESH AND AFFINE MOTION PARAMETERIZATION" PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE ON IMAGE PROCESSING (ICIP), WASHINGTON, OCT. 23 - 26, 1995, vol. 2, 23 octobre 1995 (1995-10-23), pages 394-397, XP000623991 INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS alinéa '0002! alinéa '03.1! alinéa '04.1! --- -/--	1-23

C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie	Identification des documents cités, avec le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	DUGELAY J -L ET AL: "DIFFERENTIAL METHODS FOR THE IDENTIFICATION OF 2D AND 3D MOTION MODELS IN IMAGE SEQUENCES" SIGNAL PROCESSING. IMAGE COMMUNICATION, vol. 7, no. 1, 1 mars 1995 (1995-03-01), pages 105-127, XP000495187 alinéa '03.2! alinéa '03.3! alinéa '05.1!	1-18
A	EP 0 721 287 A (DAE WOO ELECTRONICS CO LTD) 10 juillet 1996 (1996-07-10) page 5, ligne 5 - ligne 36 figures 2,3	1-18
P,A	LECHAT P ET AL: "Scalable image coding with fine granularity based on hierarchical mesh" VISUAL COMMUNICATIONS AND IMAGE PROCESSING '99, SAN JOSE, CA, USA, 25-27 JAN. 1999, vol. 3653, pt.1-2, 25 - 27 janvier 1999, pages 1130-1142, XP000862993 Proceedings of the SPIE - The International Society for Optical Engineering, 1998, SPIE-Int. Soc. Opt. Eng, USA ISSN: 0277-786X abrégé alinéa '02.3! alinéa '04.2! alinéa '04.3! figures 3,4	1-23
A	CHANG J -Y ET AL: "Edge-based motion compensated classified DCT with quadtree for image sequence coding" SIGNAL PROCESSING. IMAGE COMMUNICATION,NL,ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS, AMSTERDAM, vol. 11, no. 3, 1 janvier 1998 (1998-01-01), page 187-197 XP004107302 ISSN: 0923-5965 alinéa '0003!	1-23
A	US 5 296 927 A (GUILLLOTEL PHILIPPE) 22 mars 1994 (1994-03-22) abrégé figure 1	1-23

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs Membres de familles de brevets

le Internationale No

PCT/FR 99/02076

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 0765087 A	26-03-1997	JP 9065342 A	07-03-1997
		JP 9172644 A	30-06-1997
		JP 9261654 A	03-10-1997
		US 5886742 A	23-03-1997
EP 0721287 A	10-07-1996	US 5689306 A	18-11-1997
US 5296927 A	22-03-1994	FR 2664117 A	03-01-1992
		AT 126959 T	15-09-1995
		DE 69112362 D	28-09-1995
		DE 69112362 T	08-02-1996
		DK 489890 T	27-12-1995
		EP 0489890 A	17-06-1992
		ES 2076537 T	01-11-1995
		WO 9200651 A	09-01-1992
		GR 3017635 T	31-01-1996
		JP 5502564 T	28-04-1993

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

/FR 99/02076

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0765087	A	26-03-1997	JP 9065342 A	07-03-1997
			JP 9172644 A	30-06-1997
			JP 9261654 A	03-10-1997
			US 5886742 A	23-03-1997
<hr/>				
EP 0721287	A	10-07-1996	US 5689306 A	18-11-1997
<hr/>				
US 5296927	A	22-03-1994	FR 2664117 A	03-01-1992
			AT 126959 T	15-09-1995
			DE 69112362 D	28-09-1995
			DE 69112362 T	08-02-1996
			DK 489890 T	27-12-1995
			EP 0489890 A	17-06-1992
			ES 2076537 T	01-11-1995
			WO 9200651 A	09-01-1992
			GR 3017635 T	31-01-1996
			JP 5502564 T	28-04-1993
<hr/>				

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**